

**METODE SINTESIS NANOSELULOSA: KAJIAN PUSTAKA**  
*[Study of Nanocellulose Synthesis Method: A Review]***Suriyati Amirudin<sup>1\*</sup>, Tamrin<sup>1</sup>, Sri Rejeki<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan Fakultas Pertanian Universitas Halu Oleo, Kendari\*Email: [suriyatiamirudin12@gmail.com](mailto:suriyatiamirudin12@gmail.com) Telp: 0822 6108 0523

Diterima tanggal 02 Oktober 2020

Disetujui tanggal 15 Oktober 2020

**ABSTRACT**

*Cellulose (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub> is a long-chain polymer with repeating D-glucose units and single oxygen atoms (acetal linkages) known as pyranose. Nanocellulose is cellulose produced at a nano scale with a diameter of less than 100 nm. Nanocellulose exhibits significantly improved mechanical properties compared to regular cellulose and is also biodegradable, making it environmentally friendly. The isolation methods for nanocellulose used in various studies include mechanical, chemical, and biological methods. This paper aims to provide information on different methods for isolating nanocellulose from various cellulose sources. Generally, the isolation method combining TEMPO oxidation and homogenization produces nanocellulose with smaller fiber diameters compared to other methods.*

**Keywords:** synthesis method, nanocellulose, cellulose**ABSTRAK**

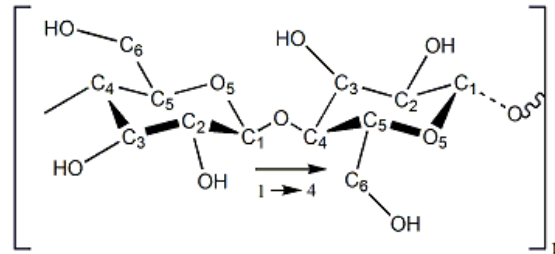
Selulosa (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub> adalah polimer rantai panjang dengan unit D-glukosa berulang dan memiliki atom oksigen tunggal (*acetal linkages*) yang disebut piranosa. Nanoselulosa merupakan selulosa yang dihasilkan dalam skala nano yang memiliki diameter kurang dari 100 nm. Nanoselulosa memiliki sifat mekanik yang jauh lebih baik dibandingkan dengan selulosa biasa dan juga bersifat biodegradable sehingga ramah lingkungan. Metode isolasi nanoselulosa yang digunakan dari beberapa penelitian yang telah dilakukan yaitu dengan metode mekanik, metode kimiawi, dan metode biologis. Penulisan ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai berbagai metode isolasi nanoselulosa dari berbagai sumber selulosa. Umumnya metode isolasi nanoselulosa dengan kombinasi oksidasi TEMPO dan homogenisasi menghasilkan nanoselulosa dengan diameter serat yang lebih kecil dibandingkan dengan metode yang lain.

**Kata kunci:** metode isolasi, nanoselulosa, selulosa**PENDAHULUAN**

Selulosa (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub> adalah polimer rantai panjang dengan unit D-glukosa berulang dan memiliki atom oksigen tunggal (*acetal linkages*) yang disebut piranosa. Pada C-1 cincin piranosa dan C-4 pada cincin selanjutnya dihubungkan oleh ikatan 1,4-β glikosidik (Gambar 1). Tiap 1,4-β glikosidik memiliki tiga gugus hidroksil (-OH) dan 1,4-β glikosidik mampu membentuk ikatan hidrogen intramolekuler dan intermolekuler yang memainkan peran dalam menentukan sifat fisika dari selulosa (Khalil, 2012; Lee *et al.*, 2014). Serat selulosa terdiri dari nanoserat dengan diameter yang berkisar 2-20 nm dengan panjang beberapa mikrometer (Khalil *et al.*, 2012).

Nanoselulosa merupakan selulosa yang dihasilkan dalam skala nano dan memiliki sifat mekanik yang jauh lebih baik dibandingkan dengan selulosa biasa. Nanoselulosa dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti serat alami dari berbagai tumbuhan atau hewan laut (Fortunati *et al.*, 2012). Dimensi lateral nanoselulosa beragam tergantung jenis tanamannya dari 10-100 nm dengan panjang seratnya pada skala mikrometer. Nanoserat selulosa

memiliki grup rantai selulosa yang terikat oleh ikatan hidrogen. Nanoselulosa memiliki tingkat kekakuan yang cukup tinggi dan menghasilkan kekuatan bersama dengan kapasitas tinggi serta jaringan terjerat yang sangat kaku (Chaker *et al.*, 2014).



Gambar 1. Rantai Selulosa (Moon *et al.*, 2011)

Chaker *et al.* (2014) menyatakan bahwa yang dimaksud dengan nanoselulosa ialah selulosa yang memiliki diameter kurang dari 100 nm. Dibandingkan dengan selulosa, nanoselulosa memiliki luas permukaan, kekuatan tarik (*tensile strength*) dan kestabilan suspensi yang tinggi. Nanoselulosa juga bersifat *biodegradable* sehingga ramah lingkungan (Loelovich, 2012). Dalam paper ini akan dikaji mengenai metode isolasi nanoselulosa, diantaranya metode mekanik, metode kimiawi, dan metode biologis.

## METODE ISOLASI NANOSELULOSA

Isolasi nanoselulosa dapat dilakukan dengan berbagai metode, yaitu metode mekanik, kimiawi dan biologis (enzimatis). Nanoselulosa dari berbagai metode dapat dilihat pada Tabel 1.

### 1. Metode Mekanik

#### a. Ultrasonikasi

Metode ultrasonikasi dilakukan menggunakan gelombang ultrasonik (>20 kHz) yang menghasilkan efek kavitasi akustik (Nechyporchuk *et al.*, 2016). Gelombang ultrasonik menyebabkan pecahnya gelembung kavitasi sehingga dapat memutus ikatan  $\alpha$ -glikosida pada daerah amorf selulosa (Li *et al.*, 2012). Efek mekanik proses ultrasonikasi dapat meningkatkan dispersi serat sehingga meningkatkan peluang untuk memproduksi nanoselulosa lebih banyak. Keberhasilan metode ultrasonikasi dipengaruhi oleh kontrol waktu dan frekuensi yang digunakan (Rattaz *et al.*, 2011).

Li *et al.* (2012) menggunakan metode mekanik dengan cara ultrasonikasi untuk memperoleh nanoselulosa. Ukuran nanoselulosa yang dihasilkan dengan daya ultrasonikasi pada saat sintesis sebesar 1500W adalah 50-250 x 10-20 nm. Menurutnya, adanya penambahan durasi waktu dalam ultrasonikasi menyebabkan penurunan ukuran dari nanoselulosa yang dihasilkan.

### b. *Ultrafine Grinding*

*Ultrafine grinding* merupakan teknik disintegrasi mekanik untuk memproduksi nanoselulosa yang homogen melalui gesekan yang kuat antara dua batu sehingga dinding sel berlapis pada serat akan terpisah dan nanoselulosa akan terbentuk (Cho *et al.*, 2006). Kelemahan dari metode mekanik adalah konsumsi energi yang cukup tinggi sehingga diperlukan adanya kombinasi dengan metode yang lainnya.

## 2. Metode Kimiawi

Metode isolasi nanoselulosa secara kimiawi untuk saat ini terdiri dari metode hidrolisis asam, oksidasi, organosolv, dan cairan ionik. Berikut uraian dari metode-metode tersebut.

### a. Hidrolisis Asam

Hidrolisis selulosa yang umum digunakan adalah dengan menggunakan asam kuat. Asam kuat dapat menghilangkan bagian amorf dari suatu rantai selulosa sehingga isolasi pada bagian kristalin selulosa dapat dilakukan (Effendi *et al.*, 2015). Putri dan Gea (2018) menggunakan asam sulfat 48,84 % untuk isolasi nanokristalin selulosa dari tandan sawit. Nanokristalin selulosa yang dihasilkan memiliki ukuran partikel 47,46 nm. Arjuna *et al.* (2018) mengisolasi nanokristalin selulosa dari limbah kubis menggunakan asam sulfat 65 % dan diperoleh produk kristalin dengan ukuran 58,91 nm. Khawas *et al.* (2016) mengisolasi selulosa dari kulit pisang menggunakan asam sulfat. Hasil yang diperoleh dari mengkombinasikan hidrolisis alkali, hidrolisis asam dan ultrasonikasi adalah serat dengan ukuran diameter 20-32 nm. Kelebihan dari metode hidrolisis asam yaitu bahan yang digunakan murah dan mudah diperoleh, prosesnya lebih sederhana, waktu proses yang relatif lebih singkat, teknologi yang lebih sederhana, pengaturan kondisi proses yang lebih mudah serta biaya yang lebih murah (Devitria dan Sepriyani, 2018).

### b. Oksidasi

Metode oksidasi biasanya digunakan untuk meningkatkan kinerja dari pelarut alkali. Pada kondisi pH >12 pelarut akan mereduksi radikal super oksida ( $-O_2^*$ ) dimana cincin aromatik dari lignin dan sebagian dari polimer hemiselulosa akan terserang menjadi senyawa asam karboksilat (Sanches *et al.*, 2011). Faradilla *et al.* (2016) telah mengisolasi nanoselulosa dengan mereaksikan selulosa dari lapisan dalam dan juga lapisan luar dari batang pisang dengan TEMPO, NaBr dan NaOCl. Nanoselulosa yang diperoleh memiliki lebar serat dengan ukuran 7–35 nm. Aminah (2017) memproduksi nanoselulosa dari serat tanaman kenaf dengan kombinasi antara oksidasi TEMPO, *ultrafine grinding* dan ultrasonikasi. Nanoselulosa yang dihasilkan memiliki diameter <100 nm dengan ukuran yang paling dominan antara 71-80 nm. Kekurangan dari metode oksidasi adalah harga bahan kimia yang digunakan

cukup mahal. Selain itu, oksidasi akan berlangsung optimal jika didahului dengan perlakuan alkali sehingga tahapan proses menjadi kurang efisien dan ekonomis.

#### c. Organosolv

Proses organosolv adalah proses pemisahan serat dengan menggunakan bahan kimia organik seperti misalnya metanol, etanol, aseton, asam asetat, dan lain-lain (Harsini dan Susilowati, 2016). Ion OH<sup>-</sup> dari pelarut alkohol akan menyerang ikatan asam-ester dari senyawa lignin-hemiselulosa (Zhao *et al.*, 2009). Hinestroza *et al.* (2019) melakukan isolasi nanoselulosa dari limbah ampas tebu menggunakan metode organosolv. Nanoserat yang dihasilkan memiliki rata-rata diameter sebesar 75 nm. Zang dan Liu (2018) melaporkan bahwa nanokristalin selulosa yang diisolasi dari batang *Eucalyptus* dengan metode organosolv memiliki serat dengan lebar 4-6 nm dan panjang 150-250 nm. Metode organosolv untuk saat ini tidak layak untuk digunakan. Proses *treatment* metode ini terbilang rumit, dan konsumsi energi untuk seluruh proses yang cukup besar (Zheng *et al.*, 2009). Metode organosolv juga bersifat kurang ramah lingkungan (Effendi *et al.*, 2015).

#### d. Cairan Ionik

Cairan ionik adalah senyawa berwujud cair yang terdiri atas ion (kation dan anion). Berbeda dengan garam cair yang biasanya mempunyai titik leleh dan viskositas tinggi juga sangat korosif, cairan ionik umumnya berwujud cair pada suhu kamar, mempunyai viskositas relatif lebih rendah dan relative tidak mempunyai sifat korosif (Uerdingen, 2006). Cairan ionik dikenal sebagai pelarut yang ramah lingkungan karena stabil secara kimiawi dan termal, tekanan uap rendah, tidak mudah terbakar, volalilitas rendah dan dapat didaur ulang (Lu dan Hsieh, 2010; Qiu *et al.*, 2012).

Tan *et al.* (2015) menggunakan metode hidrolisis dengan cairan ionik 1-butil-3-metilimidazolium hidrogen sulfat (BMIMHSO<sub>4</sub>) sebagai pelarut. Pada penelitian tersebut ditemukan bahwa pemrosesan nanokristalin selulosa menggunakan cairan ionik dengan suhu tinggi (90° C) menghasilkan NCC yang lebih kristalin daripada suhu ruang. Man *et al.* (2011) telah melakukan isolasi nanokristal selulosa dari mikrokristalin selulosa menggunakan cairan ionik 1-butil-3-metilimidazolium hidrogen sulfat. Proses isolasi dilakukan selama 1 jam menggunakan kecepatan pengadukan 400 rpm. Selulosa yang dihasilkan mengalami peningkatan kristalinitas serta memiliki ukuran panjang serat 50-300 nm dan diameter serat 14-22 nm.

Cairan ionik menyebabkan pembelahan hidrolitik ikatan glikosidik antara dua unit anhidroglukosa yang mengakibatkan penataan ulang ujung rantai yang saling terkait, yang memudahkan pelepasan regangan internal. Cairan ionik melarutkan bagian amorf dan meninggalkan daerah Kristal. Pengolahan cairan ionik bersama dengan pengadukan mekanik menghasilkan disintegrasi struktur selulosa mikrokristalin menjadi partikel nanokristal selulosa (Man *et al.*, 2011).

Tabel 1. Metode, Bahan Baku dan Hasil Isolasi Nanoselulosa

No.	Metode	Bahan Baku	Ukuran Nanoselulosa	Sumber
1.	Hidrolisis Asam	Tandan sawit, asam sulfat	47,46 nm	Putri dan Gea, 2018
		Limbah kubis, asam sulfat	58,91 nm	Arjuna <i>et al.</i> , 2018
		Serat pohon aren, asam sulfat	-	Fahma <i>et al.</i> , 2016
2.	Kombinasi hidrolisis alkali, hidrolisis asam dan ultrasonikasi	Kulit pisang, asam sulfat	20 – 32 nm	Khawas <i>et al.</i> , 2016
3.	Kombinasi hidrolisis asam dan homogenisasi	Tongkol jagung, HCl 1 N	80-270 nm	Evandani, 2012
4.	Kombinasi Hidrolisis Asam dan Ultrasonikasi	Tongkol jagung, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	60 - 330 nm	Liu <i>et al.</i> , 2016
4.	Oksidasi TEMPO	Tandan kosong sawit	31,04 nm	Gea <i>et al.</i> , 2018
5.	Kombinasi oksidasi TEMPO, homogenisasi dan ultrasonikasi	Batang pisang, TEMPO	7 – 35 nm	Faradilla <i>et al.</i> , 2016
6.	kombinasi antara oksidasi TEMPO, <i>ultrafine grinding</i> dan ultrasonikasi	Serat kenaf	71 – 80 nm	Aminah, 2017
7.	Organosolv	Ampas tebu	75 nm	Hinestroza <i>et al.</i> , 2019
8.	Organosolv	Batang <i>Eucalyptus</i>	4-6 x 150-250 nm	Zang dan Liu, 2018
9.	Hidrolisis cairan ionik	Alfa selulosa, 1-butyl-3-metilimidazolium hidrogen sulfat	-	Tan <i>et al.</i> , 2015
		Mikrokristalin selulosa, 1-butyl-3-metilimidazolium hidrogen sulfat	50-300 x 14-22 nm	Man <i>et al.</i> , 2011
10.	Hidrolisis enzimatis	Enzim endoglucanase celluclast	30-80 x 100-1800 nm	Felison <i>et al.</i> , 2009
		Bakteri <i>Acetobacter xylinum</i>	50-80 nm	Taokaew <i>et al.</i> , 2013

### 3. Metode Biologis (Enzimatis)

Pembuatan nanoselulosa dengan metode biologis telah dilakukan oleh Felison *et al.* (2009) menggunakan enzim *endoglucanase celluclast*. Nanoselulosa yang diperoleh berukuran 30-80 x 100-1800 nm. Taokaew *et al.* (2013) melaporkan bahwa telah membuat nanoselulosa dengan bakteri *Acetobacter xylinum*, dan menghasilkan nanoselulosa dengan ukuran diameter 50-80 nm. Hidrolisis enzimatis memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan hidrolisis kimiawi, antara lain kondisi proses yang lebih lunak (suhu rendah, pH netral), berpotensi memberikan hasil yang tinggi, dan biaya pemeliharaan yang relative rendah karena tidak ada bahan yang korosif (Tahezadeh dan Karimi, 2007). Kekurangan hidrolisis enzimatis adalah tingginya biaya produksi dan prosesnya lambat.

## KESIMPULAN

Hasil studi literatur yang dilakukan diperoleh informasi bahwa banyak metode yang dapat digunakan dalam proses isolasi nanoselulosa, yaitu metode fisik, kimiawi dan enzimatis. Dari beberapa literature yang telah direview dapat diketahui bahwa isolasi nanoselulosa dengan kombinasi metode oksidasi TEMPO dan homogenisasi

menghasilkan nanoselulosa dengan diameter serat yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan metode yang lain. Ukuran serat yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh jenis tanaman yang menjadi sumber selulosa.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aminah S. 2017. Bionanokomposit Film Berbasis PVA dan Nanoselulosa dari Serat Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). Tesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Arjuna, A., Selva, N., Andi, AK., dan Risfah Y. 2018. Modifikasi Serat Limbah Kubis Menjadi Nanokristalin Selulosa Melalui Metode Hidrolisis Asam. *Jurnal Farmasi Galenika (Galenika Journal of Pharmacy)*. 4 (2): 119-125.
- Chaker, A., Alila, S., Mutje, P., Vilar, M.R., dan Boufi, S. 2013. Key Role of The Hemicellulose Content and The Cell Morphology on The Nanofibrillation Effectiveness of Cellulose Pulps. *Cellulose*. 20 : 2863–2875.
- Cho, H., Hoon, L., dan Yeongwoo, L. 2006. Some Breakage Characteristics of Ultrafine Wet Grinding With A Centrifugal Mill. *International Journal Miner Process*, 78: 250-261.
- Devitria, R., dan Sepriyani, H. 2018. Optimalisasi Konsentrasi Asam Klorida pada Proses Hidrolisis Limbah Ampas Sagu (*Metroxylon* Sp.) Terhadap Kadar Glukosa. *Jurnal Analisis Kesehatan Klinikal Sains*. 6(2): 37-42.
- Effendi, D.B., Nurul. H.R., Asep, B.D.N., dan Ahmad, M. 2015. *Review: Sintesis Nanoselulosa*. *Jurnal Integrasi Proses*. 5 (2): 61-74.
- Evandani, N. 2012. Sintesis Nanoselulosa dari Tongkol Jagung dengan Perlakuan Hidrolisis Kimia dan Homogenisasi. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor .
- Felison, P.B., Benjamin, E., Dawson, A., dan Diane, S.B. 2009. Enzymatic-mediated Production of Cellulose Nanocrystals From Recycled Pulp. *Green Chemistry*. 11: 1808-1814.
- Fahma, F., Naruhito, H., Shinichiro, I., Tadahisa I., dan Akio T. 2016. Cellulose Nanowhiskers from Sugar Palm Fibers. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 28 (8): 566- 571.
- Faradilla, RH.F., George, L., Aditya, R., Try, H., Martina, H.S., dan Jayashree, A. 2016. Nanocellulose Characteristics From The Inner and Outer Layer of Banana Pseudo-Stem Prepared by TEMPO-Mediated Oxidation. *Cellulose*. 23 (4).
- Fortunati, E., Peltzer, M., Armentano, I., Torre, L., Jiménez, A., dan Kenny, J.M. 2012. Effects of Modified Cellulose Nanocrystals on The Barrier and Migration Properties of PLA Nano-Biocomposites. *Carbohydrate Polymers*. 90: 948956.
- Gea, S., Ila, D.A., dan Cut, F.Z. 2019. Sintesis Nanoserat Selulosa dari Tandan Kosong Sawit (Tks) dengan Menggunakan Metode Tetramethyl Piperidine 1 Oxyl (TEMPO). *TALENTA Conference Series Science and Technology*. 2(1): 22-28.

- Harsini, T., dan Susilowati. 2016. Pemanfaatan Kulit Buah Kakao dari Limbah Perkebunan Kakao sebagai Bahan Baku Pulp dengan Proses Organosolv. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 2(2): 80-89.
- Hinestroza, H.P., Javier, A.H.D., Marianelly, E.A., Guillermo, T., Oriando, J.R., dan Belkis, C.S.R. 2019. Isolation and Characterization of Nanofibrillar Cellulose from *Agave tequilana* Weber Bagasse. *Materials Science and Engineering*. 1-7.
- Khalil, H.P.SA., Bhat, A.H., dan Yusra, A.F.I. 2012. Green Composites from Sustainable Cellulose Nanofibrils: Review. *Carbohydr Polym*. 87(2): 63-79.
- Khawas, P., dan Deka, S.C. 2016. Isolation and characterization of Cellulose Nanofibers from Culinary Banana Peel Using High-Intensity Ultrasonication Combined With Chemical Treatment. *Carbohydr Polym*. 137: 608–616.
- Lee, H.V., Hamid, S.B.A., dan Zain, S.K. 2014. Conversion of Lignocellulosic Biomass to Nanocellulose : Structure and Chemical Process. *The Scientific World Journal*. 45 (2): 54-63.
- Li, W., Yue, J., dan Liu, S. 2012. Preparation of Nanocrystalline Cellulose Via Ultrasound and Its Reinforcement Capability For Poly(Vinyl Alcohol) Composites. *Ultrasonics Sonochemistry*. 19: 479-485.
- Liu, C., Li, B., Du, H., Dong, L., Zhang, Y., Yu G., Mu, X, dan Peng, H. 2016. Properties of Nanocellulose Isolated From Corn cob Residue Using Sulfuric Acid, Formic Acid, Oxidative and Mechanical Methods. *Carbohydrate Polimers*. University of Chinese. China.
- Loelovich, M. 2012. Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles. *Nanoscience and Nanotechnology*. 2(2): 9-13.
- Lu, P. dan Hsieh, Y.I. 2010. Preparation and Properties of Cellulose Nanocrystal: Rods, Spheres and Network. *Carbohydrate Polymers*. 82: 329-336.
- Man, Z., Nawshad, M., Ariyanti, S., Mohamad, A.B., Vignesh, K.M., dan Sikander, R. 2011. Preparation of Cellulose Nanocrystals Using an Ionic Liquid. *Journal of Polymer and the Environment*. 19: 726-731.
- Moon, R.J. 2011. Cellulose Nanomaterials Review: Structure, Properties and Nanocomposites. *Chemical Society*. 40: 3941-3994.
- Nechporchuk, O., Naceur, B., dan Julien, B. 2016. Production of Cellulose Nanofibrils: A Review of Recent Advances. *Industrial Crops and Products*. 93: 2-25.
- Putri, E. dan Saharman, G. 2018. Isolasi dan Karakterisasi Nanokristal Selulosa dari Tandan Sawit (*Elaeis guineensis* Jack). *Journal of Islamic Science and Technology*. 4 (1): 13-22.
- Qiu, K., Anil, N., dan Netravali. 2012. Fabrication and Characterization of Biodegradable Composites Based On Microfibrillated Cellulose and Polyvinyl Alcohol. *Composite Science and Technology*. 72:1588-1594.
- Rattaz, A., Mishra, S.H., Chabot, B., dan Daneault C. 2011. Cellulose Nanofibres By Sonocatalysed-TEMPO-Oxidation. *Cellulose*, 18: 585-593.

- Sanchez, O., Sierra R., dan Almeciga-Diaz CJ. 2011. Delignification Process of Agro-Industrial Wastes an Alternative to Obtain Fermentable Carbohydrates for Producing Fuel. In Alternative fuel. InTech.
- Taherzadeh, M.J., dan Karimi, K. 2007. Enzymatic-Based Hydrolysis Processes for Ethanol. BioResources. 2(4): 707-738.
- Tan, X.Y., Chin, W.L., dan Sharifah, B.A.H. 2015. Facile Preparation Of Highly Crystalline Nanocellulose By Using Ionic Liquid. Advanced Materials Research. 1-6.
- Taokaew, S., Sutasinee, S., Pongpun, S., dan Muenduen, P. 2013. Biosynthesis and Characterization of Nanocellulose –Gelatin Films. Materials. 6(3): 782-794.
- Uerdingen. 2006. New Developments In The Manufacture of Celluloce Fibers With Ionic Liquids. Chemical Fibers International. 56(6): 342-344.
- Zang, R. dan Liu, Y. 2018. High Energy Oxidation and Organosolv Solubilization for High Yield Isolation of Cellulose Nanocrystals (CNC) from *Eucalyptus* Hardwood. Scientific Reports. 8:16505.
- Zhao, X., Cheng, K., dan Liu D. 2009. Organosolv Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Enzymatic Hydrolysis. Applied Microbiology and Biotechnology. 82(5): 815–827.
- Zheng, Y., Pan, Z., dan Zhang, R. 2009. Overview of Biomass Pretreatment For Cellulosic Ethanol Production. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2(3): 51–68.